



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104321623 B

(45)授权公告日 2018.11.30

(21)申请号 201380018865.4

(22)申请日 2013.03.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104321623 A

(43)申请公布日 2015.01.28

(30)优先权数据
61/620,735 2012.04.05 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.10.08

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/031837 2013.03.15

(87)PCT国际申请的公布数据
W02013/187974 EN 2013.12.19

(73)专利权人 阳光医疗技术公司
地址 美国威斯康辛州莫诺纳市工业大道
2555号

(72)发明人 格雷戈里·皮耶福尔
埃里克·N·范亚伯

(74)专利代理机构 深圳市沈合专利代理事务所
(特殊普通合伙) 44373
代理人 沈祖锋

(51)Int.Cl.
G01D 3/10(2006.01)

(56)对比文件
CN 101861627 A, 2010.10.13,
US 2837476 A, 1958.06.03, 说明书第2栏第
21行至第9栏第17行、附图1-4.
US 5940461 A, 1999.08.17, 全文.

审查员 陈珊

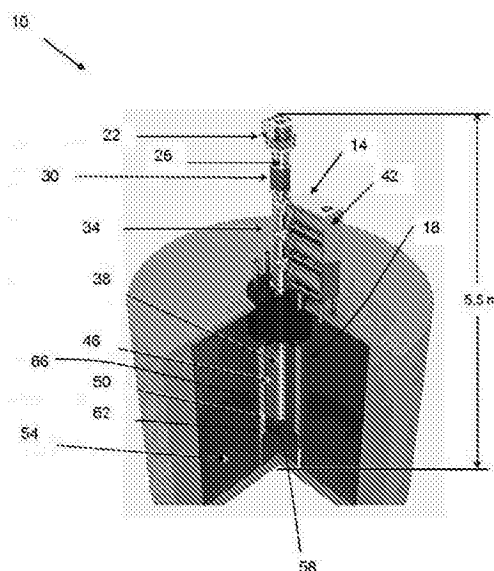
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

水性组件及控制方法

(57)摘要

本发明公开了一种具有负反应性系数的水性组件,所述负反应性系数具有一个幅值。所述水性组件包括容器和水溶液。所述水溶液包含可裂变溶质并容纳在所述容器中。反应性稳定器设置在所述水溶液内以在所述水性组件运行过程中降低所述水溶液的负反应性系数的幅值。



1. 一种具有负反应性系数的水性组件,所述水性组件包括:
容器;
水溶液,所述水溶液包含可裂变溶质并容纳在所述容器中;以及
反应性稳定器,所述反应性稳定器设置在所述水溶液内以在所述水性组件运行过程中降低所述水性组件的负反应性系数的幅值,其中所述反应性稳定器吸收中子。
2. 如权利要求1所述的水性组件,其中,所述反应性系数是溶液反应性温度系数。
3. 如权利要求1所述的水性组件,其中,所述反应性系数是溶液反应性空泡系数。
4. 如权利要求1所述的水性组件,其中,所述可裂变溶质包含铀。
5. 如权利要求1所述的水性组件,其中,所述可裂变溶质包括硝酸铀酰、硫酸铀酰或氟化铀酰至少其中之一。
6. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述反应性稳定器包括硼-10。
7. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述反应性稳定器包括硼酸。
8. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述反应性稳定器包括钆-155和钆-157至少其中之一。
9. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述反应性稳定器是所述水溶液的溶质。
10. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述水性组件是次临界的,所述水性组件还包括用以在所述容器中维持裂变反应的中子源。
11. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,其中,所述水性组件能够在临界状态下运行。
12. 如权利要求1-5中任意一项所述的水性组件,还包括控制棒,至少所述控制棒的一部分选择性地置于所述水溶液中以至少部分地控制所述水溶液的反应性。
13. 一种操作水性组件的方法,所述水性组件具有反应性系数,所述反应性系数具有一个幅值,所述方法包括:
提供容器;
添加水溶液至所述容器,所述水溶液包含可裂变溶质;
添加反应性稳定器至所述水溶液,其中所述反应性稳定器吸收中子;
降低所述反应性系数的幅值;以及
维持所述水溶液内的裂变反应。
14. 如权利要求13所述的方法,还包括:
提供中子源;以及
操作所述中子源以维持所述水溶液内的裂变反应。
15. 如权利要求13所述的方法,还包括抽出控制棒直到所述水溶液达到临界。
16. 如权利要求13至15中任意一项所述的方法,其中添加所述反应性稳定器包括添加硼-10。
17. 如权利要求13至15中任意一项所述的方法,其中添加反应性稳定器包括添加硼酸。
18. 如权利要求13至15中任意一项所述的方法,其中添加所述反应性稳定器包括添加钆-155和钆-157至少其中之一。
19. 如权利要求13至15中任意一项所述的方法,其中降低所述反应性系数的幅值包括

降低负反应性温度系数的幅值。

20. 如权利要求13至15中任意一项所述的方法,其中降低所述反应性系数的幅值包括降低负反应性空泡系数的幅值。

水性组件及控制方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请主张2012年4月5日申请的美国临时专利申请第61/620735号的优先权,该在先申请的全部内容以引用的方式结合于本案中。

背景技术

[0003] 本发明涉及水性组件。

[0004] 在水性组件中,容器容纳溶解在水溶液中的可裂变材料。因为可裂变材料溶解在溶液中,这些组件往往具有大的负反应性温度和空泡系数(negative temperature and void coefficients of reactivity),其由溶液膨胀造成。当水性组件用于例如医用同位素的制备时,水性组件希望操作在相对较高的功率水平下。当在次临界状态下,希望具有相对较高的中子倍增因子(neutron multiplication factor)。然而,这个大的负反应性温度和空泡系数可能造成不良的反应性损失和/或功率振荡(power oscillation),从而限制了水性组件的操作参数。

发明内容

[0005] 在一些实施例中,本发明提供了一种具有负反应性系数的水性组件,所述负反应性系数具有一个幅值。所述水性组件包括容器和水溶液。所述水溶液包含可裂变溶质并容纳在所述容器中。反应性稳定器设置在所述水溶液内以在所述水性组件运行过程中降低所述水溶液的负反应性系数的幅值。

[0006] 在其它实施例中,提供了一种操作水性组件的方法,所述水性组件具有反应性系数,所述反应性系数具有一个幅值。所述方法包括提供容器。水溶液被添加至所述容器,所述水溶液包含可裂变溶质。反应性稳定器被添加至所述水溶液,从而降低所述反应性系数的幅值。所述水溶液内维持裂变反应。

[0007] 通过考虑详细说明和附图,本发明的其它方面将变得更加明显。

附图说明

[0008] 图1是次临界混合体的局部剖视图,该混合体包括中子源组件和水性组件。

[0009] 图2是靶溶液中的硼浓度对次临界水性组件的归一化生产率的曲线图。

[0010] 图3是含铀水溶液中的硼浓度对水性组件的反应性温度系数的曲线图。

[0011] 图4是水性反应堆的截面示意图。

[0012] 图5是加入稳定措施和未加入稳定措施的次临界水性组件的次临界操作区间的对比示意图。

[0013] 图6是加入稳定措施和未加入稳定措施的临界水性组件的操作区间的对比示意图。

具体实施方式

[0014] 在详细描述本发明的任何实施例之前,应当理解,本发明不将其应用局限于下文所述或附图所示的结构细节和部件布置。本发明能够具有其它实施例并且能够以各种方式实施或实现。同样,应当理解,这里使用的措辞和术语是出于描述目的,而不应被看作限制性的。这里使用的“包含”、“包括”或“具有”及其变形是指涵盖其后所列项目和其等同物以及其它项目。除非另有说明或限制,术语“安装”、“连接”、“支撑”和“联接”及其变形被广义地使用并且涵盖直接和间接安装、连接、支撑和联接。另外,“连接”和“联接”不局限于物理或机械连接或联接。也应该特别理解的是,这里记载的任何数值范围包括从下端值到上端值之间的所有值,例如,这里列举的下端值和上端值之间的数值的所有可能的组合都应被视为在本申请中明确描述过。例如,如果一个浓度范围被描述为1%至50%,其预期是本申请明确列举了例如2%至40%、10%至30%或1%至3%等数值。或者,如果一个参数被描述为0.95-0.99,其预期是本申请明确列举了例如0.96-0.98、0.95-0.98等数值。这些只是被特意预期的一些举例。

[0015] 在此提出的装置和方法可用于各种类型和配置的水性组件,包括例如临界和次临界水性组件。

[0016] 如图1,次临界混合体10包括中子源组件14和水性组件。具体而言,该水性组件是水性靶组件18。

[0017] 中子源组件14包括射频驱动等离子体离子源22。离子源22接收原料气,例如氘(T)和氚(D)混合气。离子源22产生包括氘离子 D^+ 和氚离子 T^+ 的离子束并使该离子束准直,该离子束被导引沿预定路径26前进。

[0018] 加速器30接收 D^+ 和 T^+ 离子束并将该离子束加速成加速的 D^+ 和 T^+ 离子束。该加速器30可包括一系列用以加速 D^+ 和 T^+ 离子束的加速电极或静电板。

[0019] 中子源组件14的加速器靶部34接收加速的离子束。该加速器靶部34包括气体靶室38,在所示的实施例中,还包括差分泵浦系统42。气体靶室38含有产生核粒子的靶气体,该靶气体可与加速的离子束反应以发出核粒子,例如,质子或中子。在一种构造中,该气体靶室38填充近似等量混合的D和T气体。

[0020] 从气体靶室38泄漏进差分泵浦系统42的气体流过高速泵以及冷阱(Cold Trap)然后流回到该靶室内。冷阱及时移除非常小的泄漏即可污染系统的较重的气体。

[0021] 加速的 D^+ 和 T^+ 离子束撞击D和T混合靶气体产生D-T和T-D反应,从而导致中子发射。

[0022] 在本发明的一些构造中,中子倍增器46实质上围绕该气体靶室。该中子倍增器46可基本上由铍(beryllium)或铀(uranium)形成。当气体靶室内的高能中子通过(n,2n)反应将铍原子分裂成两个氦核(helium nuclei)和一个额外的中子时或者当中子与铀发生(n,2n)、(n,3n)或(n,f)反应时,就会发生中子倍增。例如,14.1MeV的中子的能量足以在能量降至倍增阈值以下之前如此反应数次。

[0023] 该水性靶组件18包括靶溶液容器(TSV)50,且被屏蔽池54围绕。该TSV 50包括内墙58和外墙62,内墙58和外墙62之间形成环形溶液体积66。TSV 50可例如由锆合金(zircaloy)、不锈钢或铝形成。TSV50实质上围绕气体靶室38且在适用时也围绕中子倍增器46。

[0024] TSV 50接收该环形靶溶液体积66的水溶液,该水溶液包含可裂变溶质。该可裂变溶质包括以低浓缩铀(LEU)或自然铀形式存在的U-235或者其它可裂变材料。铀可转换为盐

(例如,硝酸铀酰(uranyl nitrate)、硫酸铀酰(uranyl sulfate)、磷酸铀酰(uranyl phosphate)、碳酸铀酰(uranyl carbonate)、氟化铀酰(uranyl fluoride))以提高溶解度,且可调整pH值以进一步提高溶解度。该水溶液可包括浓度为至少约10克铀/升、至少约20克铀/升、至少约30克铀/升、至少约40克铀/升、至少约60克铀/升、至少约80克铀/升、至少约100克铀/升、至少约120克铀/升、至少约140克铀/升、至少约160克铀/升、至少约180克铀/升、至少约200克铀/升、至少约220克铀/升、至少约240克铀/升、至少约260克铀/升、至少约280克铀/升或至少约300克铀/升的铀。该水溶液可包括浓度为低于约800克铀/升、低于约750克铀/升、低于约700克铀/升、低于约650克铀/升、低于约600克铀/升、低于约550克铀/升、低于约500克铀/升、低于约450克铀/升或低于约400克铀/升的铀。该水溶液可包括浓度为10克铀/升至约800克铀/升、20克铀/升至约700克铀/升、40克铀/升至约600克铀/升、40克铀/升至约500克铀/升或50克铀/升至约400克铀/升的铀。在一些实施例中,水溶液中的铀浓度可在10克铀/升至约800克铀/升的范围内。在一些实施例中,该水溶液中的铀浓度可在40克铀/升至约500克铀/升的范围内。

[0025] 为了实质上最大化利用该次临界混合体制备医用同位素的产量,同时实质上确保维持该次临界度,使用中子学计算机软件(Neutronics Computer Codes)针对给定的铀浓度和浓缩度计算该系统的有效中子增殖因子(k_{eff})。可用于这种分析的中子学软件包括MCNP5、HELIOS、VARIANT、PN2ND、PHOENIX/ANC、KENO、DENOVO以及很多其它软件。进而,针对期望的 k_{eff} 可以计算期望的铀浓度和浓缩度。

[0026] k_{eff} 是系统的临界接近度的量度,其中:

[0027] $k_{\text{eff}} < 1.0$ 表示次临界

[0028] $k_{\text{eff}} = 1.0$ 表示临界

[0029] $k_{\text{eff}} > 1.0$ 表示超临界

[0030] 为了实质上最大化医用同位素的产量,同时实质上维持次临界度,希望次临界混合体10运行在水性靶组件18的 k_{eff} 接近1.0的水平,因为更高的 k_{eff} 值由于增加了次临界倍增,因此增加了系统的效率。该混合体10可运行在 k_{eff} 为至少约0.7000、至少约0.7500、至少约0.8000、至少约0.7000、至少约0.8500、至少约0.9000或至少约0.9500的条件下。该混合体10可运行在 k_{eff} 为低于约0.9995、低于约0.9990、低于约0.9980、低于约0.9970、低于约0.9960、低于约0.9950或低于约0.9900的条件下。该混合体10可运行在 k_{eff} 为0.7000至0.9995、0.7500至0.9995、0.8000至0.9995、0.9000至0.9995、0.9500至0.9995、0.9900至0.9995的条件下。

[0031] 图4是水溶液反应堆70的截面视图。水溶液反应堆70包括位于屏蔽池78内的水性组件74(例如,能够临界运行的水性组件)。该水性组件74包括盛装一定容量的水溶液86的反应堆容器82。该水溶液86包括可裂变溶质。该可裂变溶质可包括以低浓缩铀或自然铀形式存在的U-235或其它可裂变材料。该铀可转换为盐(例如,硝酸铀酰(uranyl nitrate)、硫酸铀酰(uranyl sulfate)或氟化铀酰(uranyl fluoride))以提高溶解度,且可调整pH值以进一步提高溶解度。该水溶液86包括至少临界质量的可裂变溶质。该可裂变溶质的临界质量取决于其核性质(例如,裂变截面)、可裂变溶质在溶液中的浓缩度和浓度、溶液的密度、反应堆容器内溶液的形狀、溶液温度、周围物体的中子反射以及其它因素。

[0032] 控制棒90选择性地定位在水性组件74内。控制棒90的材料具有高中子俘获截面。

该材料可包括银、铟 (Indium) 和镉 (Cadmium)。其它可被使用的元素包括例如硼 (Boron)、钴 (cobalt)、铪 (hafnium)、镨 (dysprosium)、钆 (gadolinium)、钐 (samarium)、铈 (erbium)、铕 (europium) 或其合金和化合物,例如高硼钢 (high-boron steel)、银-铟-镉合金 (silver-indium-cadmium alloy)、碳化硼 (boron carbide)、二硼化锆 (zirconium diboride)、二氧化钛 (titanium diboride)、硼化铪 (hafnium diboride)、钛酸钆 (gadolinium titanate)、钛酸镨 (dysprosium titanate)。

[0033] 控制棒90利用控制棒驱动机构 (CRDM) 94定位在水性组件74中。将控制棒90深深地插入到反应堆容器82的水溶液86中会降低水性组件74的反应性,从而避免水性组件74非故意地进入临界状态 (即,控制棒维持 $k_{eff} < 1.0$)。随着控制棒90被CRDM 94可控制地从溶液中抽出,更少的中子被俘获,水性组件74内的反应性增加直到 $k_{eff} = 1.0$ (即,水性组件74处于临界状态)。继续抽出控制棒74将继续插入正反应性。如果控制棒90迅速抽出,充分的正反应性就被插入至水性组件74中,则水性组件74进入瞬发临界 (Prompt Critical): 仅使用瞬发中子即可维持裂变反应的那个点。然而,该正控制棒反应性可被能够产生负反应性的其它影响抵消,其它影响包括加热溶液,在溶液中形成空泡,甚至是沸腾。

[0034] 由于可裂变原子 (例如,铀235) 位于水性组件 (即,次临界水性靶组件18或水性组件74) 的溶液中,溶液随着温度升高而膨胀,而铀的质量浓度随之降低。这种膨胀将铀从TSV 50 (图1) 或反应堆容器82 (图4) 的在中子学上更重要的“高价值”中部区域移走,并将铀移动至该溶液的为“低价值”区域的自由表面。

[0035] 随着溶液温度升高,平均中子能量增加,这加剧了该热膨胀的影响。相对于可能发生的其它事件 (例如,从系统中退出、低位共振 (Low-lying Resonance) 俘获等) 而言,热中子温度的升高降低了使铀235分裂的可能性。这种效应可造成很强的负反应性温度系统。该反应性温度系数 (α_T) 是系统反应性随单位温度上升的变化量的量度。 α_T 预测 k_{eff} 因水溶液的温度变化而产生的变化。在100华氏度时,次临界混合体10或水溶液反应堆70的实施例的 α_T 估算为近似 $-10\text{pcm}/^\circ\text{F}$ 。 α_T 值可利用中子学计算机软件计算。 α_T 值可低于约-1、低于约-2、低于约-3、低于约-4、低于约-5、低于约-6、低于约-7、低于约-8、低于约-9或低于约-10。 α_T 值可为-100至-1、-90至-2、-80至-3、-70至-4或-60至-5。

[0036] 除了负的 α_T 之外,水性组件,例如次临界水性靶组件18 (图1) 或水性组件74 (图4) 也具有很强的负空泡系数 (α_{void})。 α_{void} 是系统反应性随单位气体或空泡增加的变化量的量度。水性组件具有负空泡系数的原因与前述热膨胀的影响类似 (随着空泡加入到溶液中,空泡将铀从溶液表面的高价值中央区域移动至低价值区域)。 α_{void} 值可利用中子学计算机软件进行计算。 α_{void} 值可为至少约 $-500\text{pcm}/(\% \text{空泡})$ 、至少约-450、至少约-400、至少约-350、至少约-300、至少约-250、至少约-200、至少约-150或至少约-100。 α_{void} 值可为低于约-10、低于约-20、低于约-30、低于约-40、低于约-50。 α_{void} 值可为-500至-10、-450至-20、-400至-30、-350至-40, or -300至-50 $\text{pcm}/(\% \text{空泡})$ 。

[0037] 大的负 α_T 和 α_{void} 值可导致水溶液系统的两个潜在问题: 反应性振荡和产出降低。反应性振荡可以是系统中诱发的任何瞬时变化 (例如,功率变化或压力变化) 或者自然振荡 (例如,紊流) 的结果。例如,如果温度上升,该反应性反馈机制将致使功率降低,这将造成温度下降以及随后的功率上升。这个循环将持续进行直到其被外部控制系统抑制或直到其自然衰减。

[0038] 第二个潜在问题是输出降低。对于次临界水性靶组件18而言,该输出的降低可以是因为该很强的负温度和空泡系数造成 k_{eff} 降低值,从而降低系统的次临界倍增。该很强的负 α_T 和 α_{void} 值可造成系统的运行功率水平的降低以确保设计中有足够的安全边际以应付这种功率振荡。

[0039] 通过降低 α_T 和 α_{void} 值的幅值,可以同时降低这两个问题造成的影响。

[0040] 某些同位素具有非常大的中子俘获截面,同时随着温度上升降低密度和/或吸收度,这些同位素可被称为反应性稳定器。反应性稳定器从核系统中吸收中子,从而阻止中子发生裂变。反应性稳定器的一些例子包括,但不限于,硼-10、钆-155和钆-157。硼-10可以硼酸(即, H_3BO_3 或 $\text{B}(\text{OH})_3$)的形式添加进水溶液中。由于其高溶解度和低pH值,硼酸可能是特别理想的稳定器。除了使用可溶解的硼酸外,硼的其它物理放置也可以使用。这些装置包括含有硼的固定板或棒。商用的硼铝合金因其化学和辐射稳定性也可以被使用。另一个选择是将硼放置在填充有浓硼酸的单独的管中。

[0041] 通过添加这些反应性稳定器至TSV 50(图1)或反应堆容器82(图4)的水溶液中,溶液中铀的相对重要性可被降低,因为该反应性稳定器与铀就中子展开竞争。如此,当溶液温度被升高(或上升),该溶液膨胀不仅将一些铀从高价值中央区域移走,其还将一些反应性稳定器移走。净效果是这个很强的负 α_T 值的幅值被降低。

[0042] α_{void} 也获得类似的反应。溶液空泡的增加同时移走反应性稳定器和铀。因此,由于铀损失和反应性稳定器损失的竞争效应,溶液中额外的空泡对反应性的影响被降低了。

[0043] 通过调整反应性稳定器的浓度,反应性反馈系数 α_T 和 α_{void} 可被塑造成任何期望的水平。例如,反应性稳定器浓度可被选择成以降低 α_T 和 α_{void} 值的幅值,但同时保持它们为负的值。负系数帮助确保系统功率的增加会导致反应性降低(自限装置);然而,太过负性的系数会导致上述功率振荡。图3例示次临界水性靶组件在数个选定的硼浓度条件下的反应性温度系数(α_T),显示温度系数的幅值随着硼浓度增加而降低。

[0044] 基本上,当操作次临界混合体组件10时,降低的反应性系数由于降低了反应性振荡而提高了稳定性(α_T 和 α_{void})。该提高的稳定性也可以提高医用同位素的生产率。因为反应性振荡被降至最低,该次临界混合体组件可操作在更高的有效中子倍增因子(k_{eff})条件下。图2是靶溶液中的硼浓度对次临界组件的归一化生产率的曲线图,显示生产率随着硼浓度上升而提高。

[0045] 图5例示次临界水性组件的 k_{eff} 操作区间。对于不使用反应性稳定器的次临界水性组件,由于大的 α_T 和 α_{void} 值导致温度和空泡反应性的振荡, k_{eff} 操作区间较宽。为了降低发生临界的可能性,未加稳定措施的操作区间的典型操作 k_{eff} 值是非理想地远离 $k_{\text{eff}}=1.0$,由于次临界倍增降低,这降低了次临界水性组件的操作效率。相比而言,包含反应性稳定器的水性组件具有较窄的 k_{eff} 操作区间,因为 α_T 和 α_{void} 值的降低造成温度和空泡反应性振荡的降低。而且,加了稳定措施的操作区间的典型操作 k_{eff} 值更接近 $k_{\text{eff}}=1.0$,但同时维持与临界之间的相同边际,从而通过增加次临界倍增来增加次临界水性组件的操作效率。

[0046] 图6例示临界水性组件的 k_{eff} 操作区间。对于不使用反应性稳定器的临界水性组件,由于大的 α_T 和 α_{void} 值导致温度和空泡反应性的振荡, k_{eff} 操作区间较宽。当操作在临界状态时,操作区间的上限非理想地接近瞬发临界(Prompt Criticality)。相比而言,包含反应性稳定器的临界水性组件具有较窄的 k_{eff} 操作区间,因为 α_T 和 α_{void} 值的降低造成温度和空泡

反应性振荡的降低。而且,至瞬发临界的边际更大,从而提高了临界水性组件的安全边际。

[0047] 范例1:提供次临界混合体,包括中子源组件、中子倍增器以及水性组件。水溶液提供在TSV中。该水溶液含有可裂变溶质,包括LEU。

[0048] 硼或其它反应性稳定器的期望浓度可使用中子学计算机软件进行计算。操作者可选择期望的 k_{eff} 、 α_T 和 α_{void} 值,然后计算硼浓度。中子学软件的其它输入值包括该混合体组件的操作条件,例如,TSV、屏蔽池和中子倍增器的几何尺寸以及所有材料的体积、溶液化学和密度,源粒子能量,核截面数据,以及所有材料的温度。

[0049] 一旦计算出期望的硼浓度,就制备硼或硼酸并将其添加至该水溶液中。

[0050] 针对一个期望的可溶反应性稳定器浓度计算 α_T 和 α_{void} 。使用基本情况确定具有高精度的第一 k_{eff} 值(k_{eff1})。然后对变量(例如,溶液温度)做小的扰动(perturbation),然后计算新的 k_{eff} 值(k_{eff2})。视情况,从该基本情况向相反的方向做一个第二扰动,然后计算第三 k_{eff} 值(k_{eff3})。

[0051] 然后,根据 $(k_{eff1}-k_{eff2}) / (k_{eff1}*k_{eff2}) / \Delta Z$ 计算反应性系数(α_T 或 α_{void}),其中 ΔZ 是变量的扰动量。这两个扰动量用于确认所计算的反应性系数(α_T 或 α_{void}),确定反应性系数的斜率,以及通过取平均值提供更好的统计。

[0052] 一旦次临界混合体运行,通过仪器和计算来测量 α_T 或 α_{void} 。例如, α_T 可通过监视温度对系统功率的影响来加以推算。溶液温度将被测量(在溶液的数个具体位置测量),所测的温度然后使用流体动力学计算映射至体积温度(bulk temperature)。然后,测量该温度下的功率或中子通量。知道该源中子项后,该中子通量或功率可被关联至系统中已知的 k_{eff} 。然后,在系统中产生(例如,通过改变冷却流的方式)温度变化(或空泡变化),然后这个过程再重复进行。然后,采用与上述相同的公式计算反应性系数(α_T 或 α_{void})。

[0053] 范例2:提供水溶液反应堆,包括水性组件。水溶液提供在反应堆容器中。该水溶液含有已知浓度和浓缩度的可裂变溶质。

[0054] 硼或其它反应性稳定器的期望浓度可使用中子学计算机软件进行计算。操作者可选择期望的 α_T 和 α_{void} 值,然后计算硼浓度。中子学软件的其它输入值可包括该水溶液反应堆的操作条件,例如,该反应堆容器和屏蔽池的几何尺寸以及所有材料的体积、溶液化学和密度,源粒子能量,核截面数据,以及所有材料的温度。

[0055] 一旦计算出期望的硼浓度,就制备硼或硼酸并将其添加至该水溶液中。

[0056] 针对一个期望的可溶反应性稳定器浓度计算 α_T 和 α_{void} 。这两个扰动量用于确认所计算的反应性系数(α_T 或 α_{void}),确定反应性系数的斜率,以及通过取平均值提供更好的统计。

[0057] 一旦水溶液反应堆运行,通过仪器和计算来测量 α_T 或 α_{void} 。例如, α_T 可通过监视温度对系统功率的影响来加以推算。溶液温度将被测量(在溶液的数个具体位置测量),所测的温度然后使用流体动力学计算映射至体积温度(bulk temperature)。然后,测量该温度下的功率或中子通量。然后,采用与上述相同的公式计算反应性系数(α_T 或 α_{void})。

[0058] 因此,除了别的以外,本发明提供了一种水性组件及其控制方法。本发明的各种特点和优点阐述于下列权利要求中。

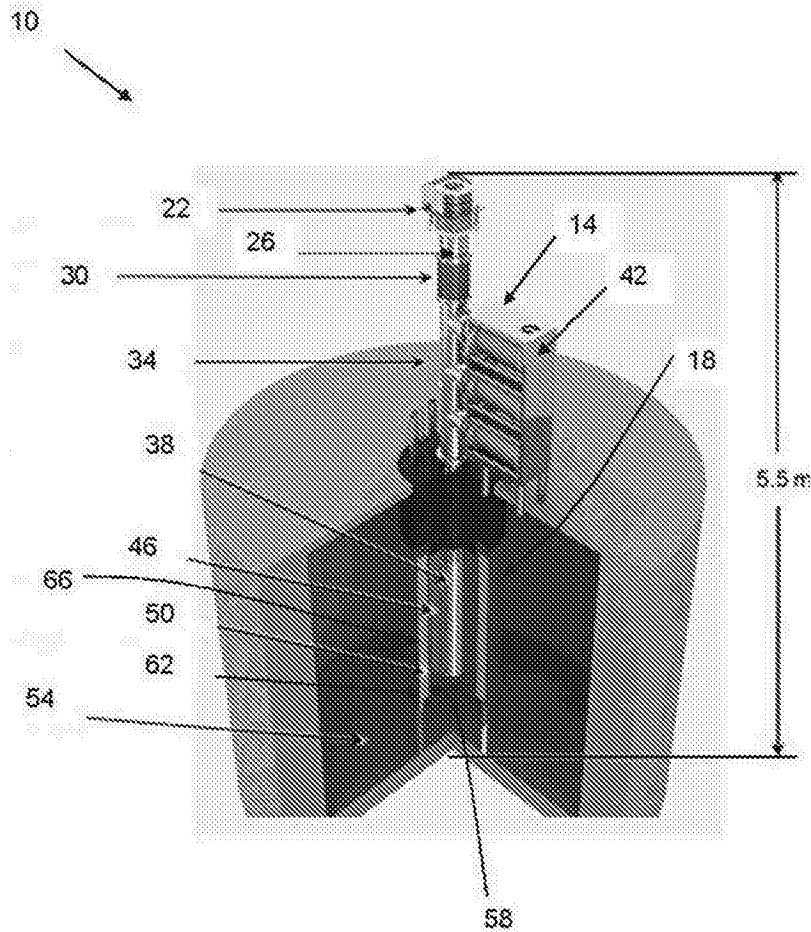


图1

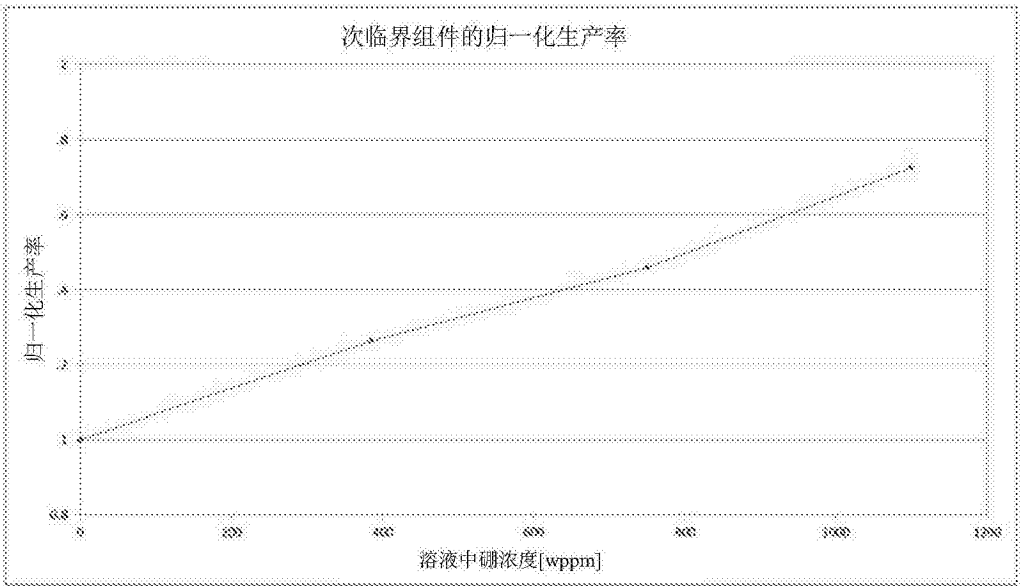


图2

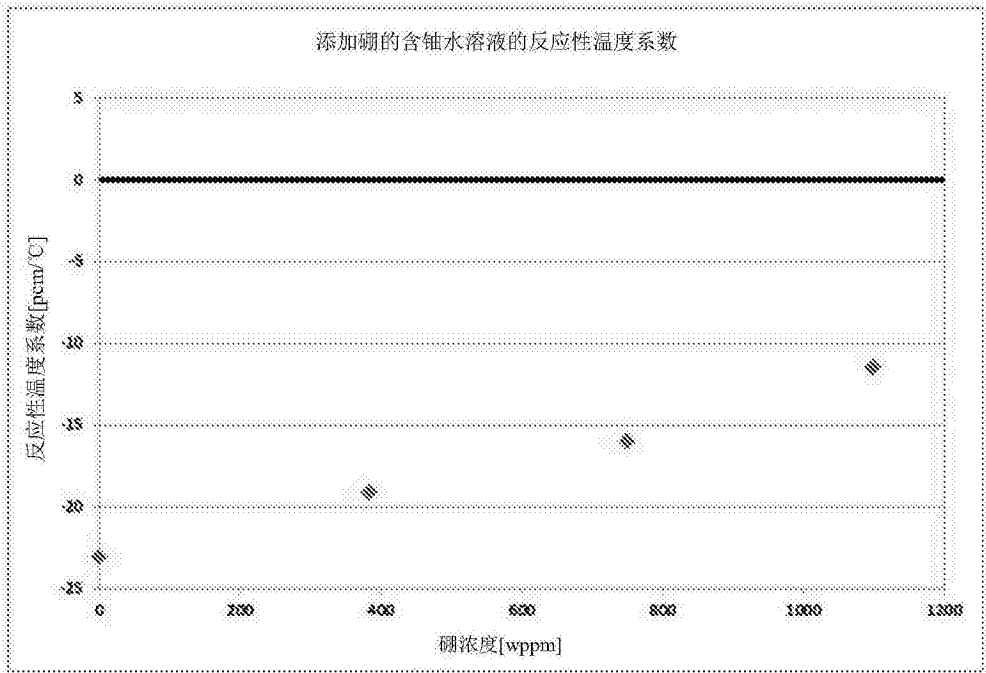


图3

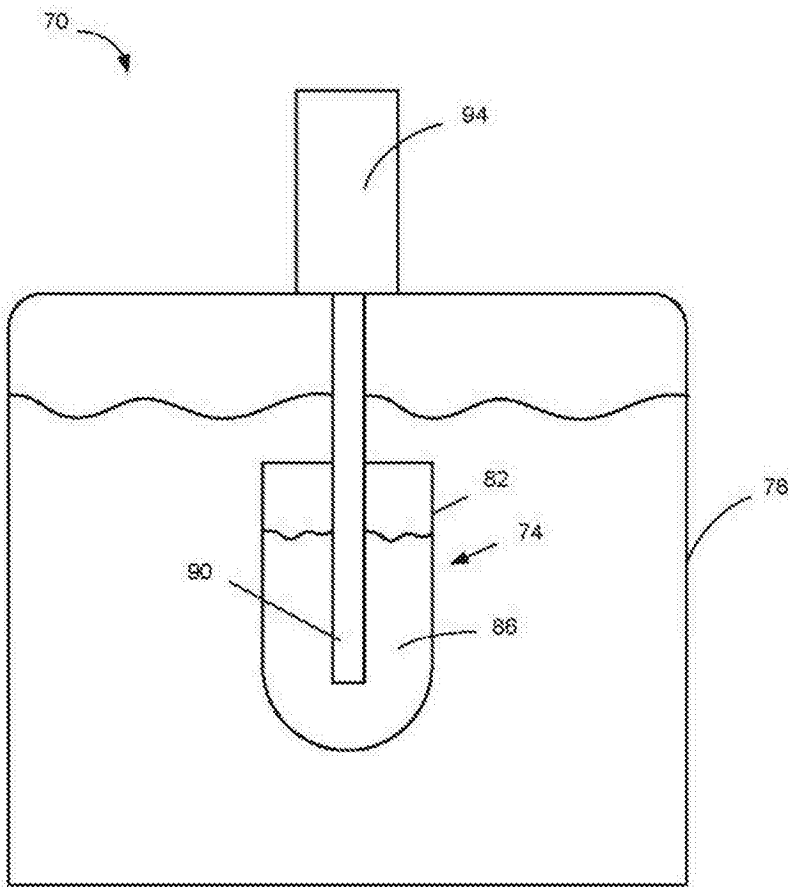


图4

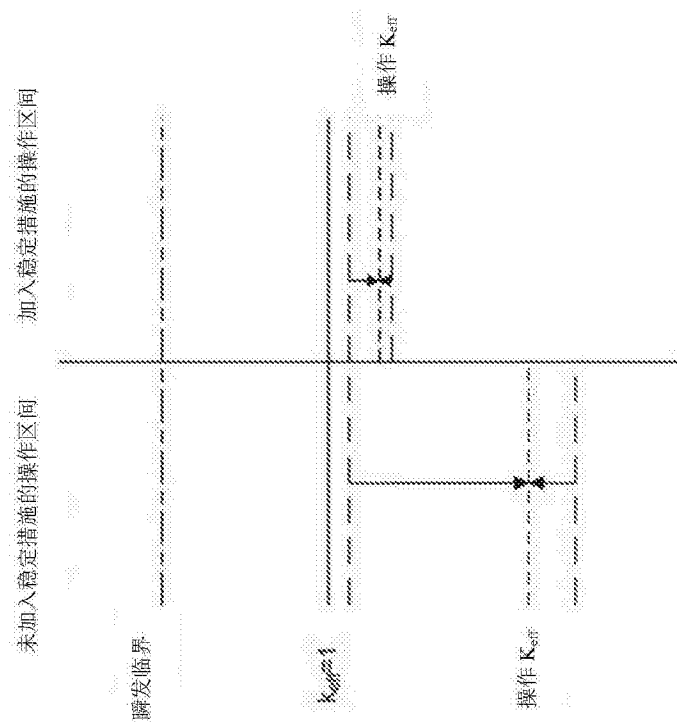


图5

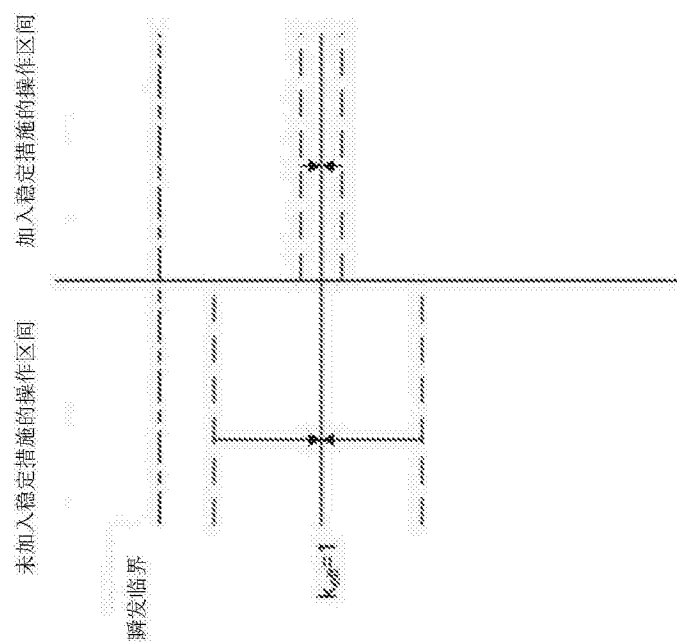


图6